

画像伝送用ガラスせんいに関する研究

著者	岡田 孝夫
号	763
発行年	1979
URL	http://hdl.handle.net/10097/9499

氏 名	お 岡	だ 田	たか 孝	お 夫
授 与 学 位	工	学	博	士
学位授与年月日	昭和 55 年 3 月 25 日			
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項			
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻			
学 位 論 文 題 目	画像伝送用ガラスせんいに関する研究			
指 導 教 官	東北大学教授 西沢 潤一			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	西沢 潤一	東北大学教授	虫明 康人
	東北大学教授	西田 茂穂		

論 文 内 容 要 旨

1964 年に西沢等によって提案された集束形ガラスせんいは，モード間の群速度の違いによる波形歪を零にすることができるので，長距離広帯域光伝送線路としてばかりでなく，画像伝送用としても注目されている。

一方，ステップ形ガラスせんいを用いた従来の体内観察のためのガラスせんい束は太く，外科手術によって挿入せざるを得ないために利用が制限されている。

その点，集束形ガラスせんいは一本で画像伝送ができるので，従来のガラスせんいのようにせんい束にする必要はなく，大変細い一本のガラスせんいで体内観察ができる。したがって何等の手術を行わなくても注射器などを用いて簡単に挿入でき，医学のみならず広く生物研究への応用が期待されている。また石英ガラス系の集束形ガラスせんいは石英ガラスのもつ耐薬品性，耐熱性などより，結晶成長のメカニズムの直接観察などができ有用である。

本論文では，石英ガラス系の集束形ガラスせんいを画像伝送を目的として，内付け CVD 法により製作し，併せて伝送特性の評価を行った。

本論文は 6 章よりなる。第 1 章は序論である。

第 2 章では材料および構造からのガラスせんいの分類，ガラスせんいの光の伝送原理について述べた。

第 3 章では集束形ガラスせんいの製作方法について詳しく述べた。本研究における集束形ガラ

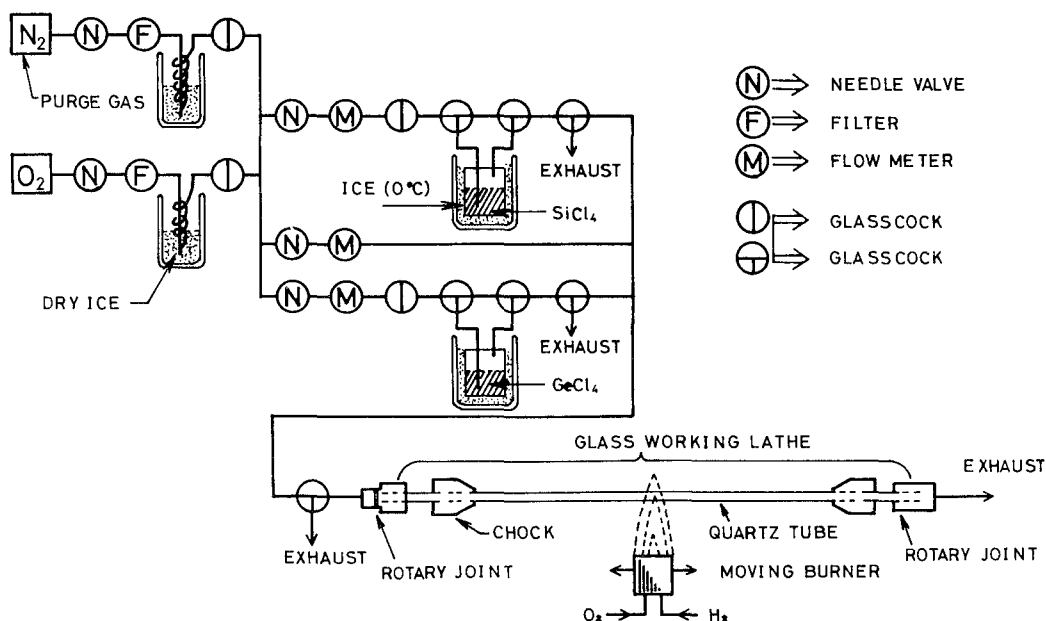


Fig. 1 Modified chemical vapor deposition apparatus.

スセインのプリフォーム製作は、試作した図1の内付けCVD装置を用いて行った。石英ガラスの主成分となる SiO_2 および屈折率制御用のドーパント酸化物 GeO_2 の出発原料には、それぞれ SiCl_4 , GeCl_4 を用い、原料ガスの輸送量はキャリアガス (O_2) の流量を制御する方法を用いた。外径10mmφの石英ガラス管を用いた場合、ガラス旋盤の主軸回転数は60 rpm付近が最もコア

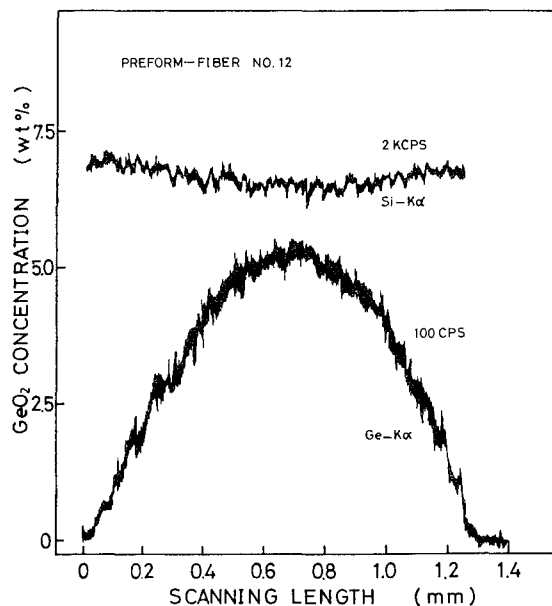


Fig. 2 Dopant concentration measured by EPMA method.

楕円率が小さく、 GeO_2 の濃度を多くするとコア楕円率は大きくなることが分った。また、一回当たりのバーナスキャンによる成長層の厚さは、すべてのバーナスキャンで同一であり、 SiCl_4 の酸化反応はCVD成長温度 (1,450 ~ 1,650 °C) では飽和になっているが、 GeCl_4 の酸化反応は飽和に達せず、CVD成長温度によって GeO_2 のドーパ量が異なることが分った。内付けCVD法の欠点の一つであるコア半径方向の屈折率リップルは、バーナスキャン一回当たりの成長層を2 μm以下にすることにより小さくできた。また、内付けCVD法の欠点のもう一つである屈折率のデップおよびパンプは、本研究で用いたCVD条件 (成長温度 1,550 °C, バーナスキャン回数

52, SiCl_4 のキャリアガス 40 cc/min, GeCl_4 のキャリアガスの最大値 23.5 cc/min, パーナスキャンスピード 10 cm/min)のもとでは, コラップス時に GeCl_4 のキャリアガスを 13 cc/min 流し, コラップス温度を 1,850 °C 以下 (1,850 °C のときにはガス線速を 50 cm/sec 以上とする) とするコラップス条件を用いることにより, デップおよびバンプのない集束形屈折率分布が実現できることが分った。図 2 はその条件で製作したプリフォームの EPMA 測定結果である。

第 4 章では屈折率分布の測定方法および測定結果について述べた。4-1 では EPMA 測定から GeO_2 濃度分布を求め, 後述の干渉顕微鏡および開口角測定結果を用いてドーピング量と屈折率の関係求めた。4-2 では簡単な開口角測定装置を試作して各種サンプルの測定を行い, 干渉顕微鏡法とはほぼ一致した値が得られ, 屈折率差の測定装置として使用できることを明らかにした。4-3 では反射形干渉顕微鏡の干渉じまパターンを用いて, 屈折率分布, 算出および各種コラップス条件のもとでのデップ, バンプの発生状況を明らかにした。4-4 では非破壊的にプリフォームロッドの屈折率分布を簡単に測定できる図 3 の方法を新たに見出し, EPMA 法および干渉顕微鏡法との比較により, その屈折パターンから屈折率分布形状, デップおよびバンプの測定ができることを明らかにした。図 4 (A)~(E) にその屈折パターンを示した。(A) は石英ガラスのムク棒, (B) はステップ形, (C) はコア中心部に屈折率のデップおよびバンプのあるサンプル, (D) はコア周辺部にデップがあり, かつコア中心部にバンプのあるサンプル, (E) は集束形の場合である。

第 5 章では伝送損失および画像伝送特性を測定し, 試

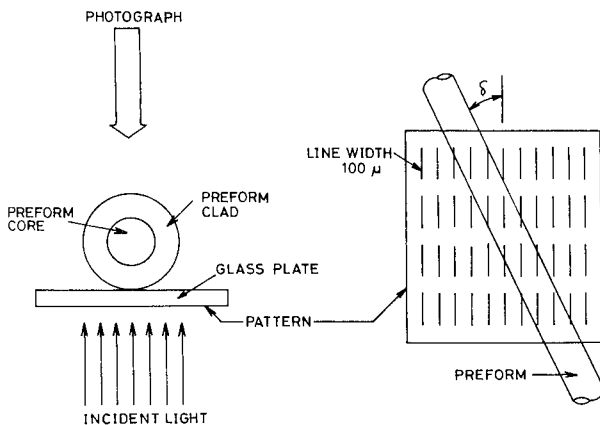


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental arrangement to measure the index profile of preform-fiber.

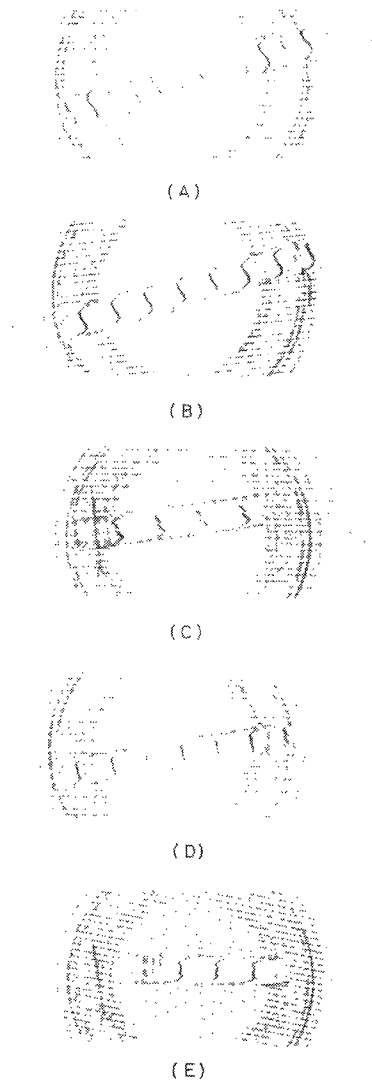


Fig. 4 Photograph of retraction pattern.

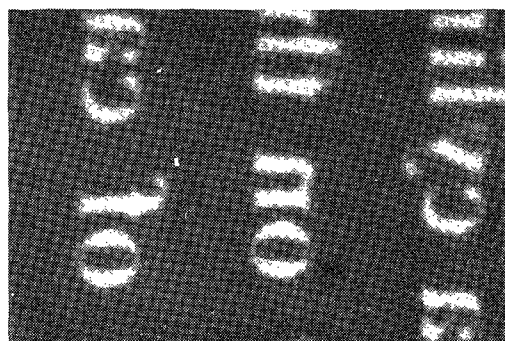
作した集束形ガラスせんいの伝送特性を評価した。モノクロメータを用いて波長 $0.5 \sim 1.9 \mu\text{m}$ 領域の損失測定を行い、低損失化のためには高温 CVD 成長が望ましいこと、CVD 成長時に流す付加酸素量は $300 \sim 500 \text{ cc/min}$ の範囲では損失に影響を与えないことなどを明らかにした。また、CVD 成長時の付加酸素量がドーパントを含んだガラス構造に及ぼす効果ならびに長波長帯 ($2.5 \sim 20 \mu\text{m}$) での損失特性を調べる目的で赤外分光による損失測定を行い、付加酸素量の損失依存性は長波長帯でも見られないこと、 SiO_2 の吸収ピークよりも $\text{SiO}_2 + \text{GeO}_2$ の吸収ピークはわずかに長波長側にずれることを見出した。A. Zaganianis 氏によって提案された伝送損失測定用マイクロカロリメータを時定数を小さく、かつ感度をあげる目的で再設計して試作した。 3×10^{-4} トルの真空度で吸収損失と散乱損失の分離ができた。試作した集束形ガラスせんいの伝送損失の測定を行い、コアとクラッドの間に SiO_2 層を設けることは吸収損失ばかりでなく、散乱損失の低減化にも有効であること、高温 CVD 成長サンプルの損失減少は散乱損失にあり気泡などの減少によるものであることなどが分った。

プリフォームの長さを順々変えて焦点距離および主平面の長さの測定を行い、像の正転および

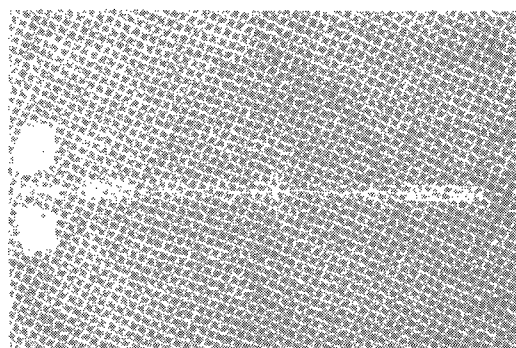
反転を確認すると共に、理論値とはほぼ等しい値を得た。また波長 $0.486 \mu\text{m}$, $0.656 \mu\text{m}$ における焦点距離の値がほぼ等しいことより、本研究に用いた $4 \sim 5 \text{ wt } \%$ の Ge 濃度では色収差は小さいことが分った。クロスハッチパターンを用いて集束定数 α の異なるサンプルの分解能を測定し、 2.1 付近に最大値を得た。これは GeO_2 の材料分散によって最適値の α が 2 からずれたものと考えられる。図 5 の (A) に本研究で得られた長さ 3 cm のプリフォームによる画像伝送の顕微鏡写真を示した。また、図 5 の (B) は 15 cm のプリフォームに He-Ne レーザ光を垂直異軸入射したときの蛇行ビーム写真で、長手方向にもほぼ均一な集束形屈折率分布を有することが分った。

第 6 章は結論であり、本研究によって得られた実験結果をまとめたものである。

以上の研究成果を基礎として、今後、バーナスキャン回数を多くし、かつ成長幅を長くして CVD 成長することによって、長尺の高分解能集束形ガラスせんいの製作が



(A)



(B)

Fig. 5 Photograph of image transmission. 期待される。

審 査 結 果 の 要 旨

ガラスせんいは時系列信号の伝送用としてのみならず画像伝送用としても重要である。特に集束形ガラスせんいは1本だけで画像の伝送が出来、開口数も大きくとることができる長所をもつ。ガラス管の内壁に石英などをガス分解によって堆積させ、順次組成を変えて屈折率の分布関数を制御する。最後に温度を高くしてガラス管を収縮させて中心の穴を潰し円い棒状とする。本論文は上述の方法により屈折率分布がほぼ放物線形になるようなガラスせんいに引き延す方法によって、画像伝送用ガラスせんいを得ようとした研究についてまとめたもので、全文6章よりなる。

第1章は序論であって、ガラスせんいによる光伝送の研究と開発の歴史についてのべたものであり、第2章では、現在使われている主なガラスせんいについて簡単に紹介している。

第3章は、本研究の主体である集束性ガラスせんいの製造方法についてまとめたものである。先ず考えられたいろいろの製造方法について紹介を行うと共に利害得失を論じて、研究室における試作法として内付け法を採用した根拠をのべている。次いでガス流量の制御法、加熱法についてのべ、ほぼ適当な条件が得られるまでの実験結果を簡単に紹介している。最後に、以上の結果に基づいて、ガス流量及び加熱サイクルなどの適当な条件及びガラス管を潰すときの条件を吟味してほぼ所期の目的に達した実験結果についてのべている。

第4章は、前章にのべた実験によって得られたガラス棒およびせんいの光学的特性の測定についてのべたものである。先ず、電子線を照射して放出される特性X線の強度からゲルマニウムの含有量を測る方法と結果についてのべ、次に、いろいろなモードを一様に励起した入射光を入力したときの出力光の出力一角度特性の分布角度から開口数を測定した結果についてのべほぼ矛盾しない数値を得たとしている。更に、入射光と透過光との干渉による線のゆがみによって屈折率の相対値を測定する方法、横からの透過光に干渉させる簡易法とその結果について述べてほぼ所期の目的に達したとしている。最後の方法を得たことは大きな成果である。

第5章は、分光特性と損失の測定結果、第6章はまとめである。

以上要するに、本論文は気相堆積法による集束性ガラスせんいの製作法について若干の知見を加え、新しい検査法を創案したもので、光通信工学に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。